



⑯ ⑯ Offenlegungsschrift  
⑯ DE 197 10 668 A 1

⑯ Int. Cl. 6:  
G 02 B 3/14  
G 02 C 7/04  
G 02 B 5/10  
G 02 B 26/00  
A 61 F 2/16  
H 04 N 5/225  
// H04N 7/18

⑯ Aktenzeichen: 197 10 668.4  
⑯ Anmeldetag: 14. 3. 97  
⑯ Offenlegungstag: 17. 9. 98

DE 197 10 668 A 1

⑯ Anmelder:	Seidel, Robert, 71065 Sindelfingen, DE; Freyhold, Thilo von, 76187 Karlsruhe, DE
⑯ Erfinder:	gleich Anmelder
⑯ Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht zu ziehende Druckschriften:	<p>DE 34 10 153 C2  DE-PS 6 28 774  DE 43 32 044 A1  DE 42 30 967 A1  DE 42 29 630 A1  DE 36 30 700 A1  DE 35 14 746 A1  DE 34 24 068 A1  DE 28 17 525 A1  DE 27 48 989 A1  DE-OS 19 45 969  AT 1 28 072</p>

FR 26 34 287 A1  
GB 20 54 188 A  
US 56 07 472  
US 54 43 506  
US 54 40 357  
US 50 66 301  
US 48 22 360  
US 47 09 996  
US 41 90 327  
US 40 33 676  
EP 02 91 596 A1

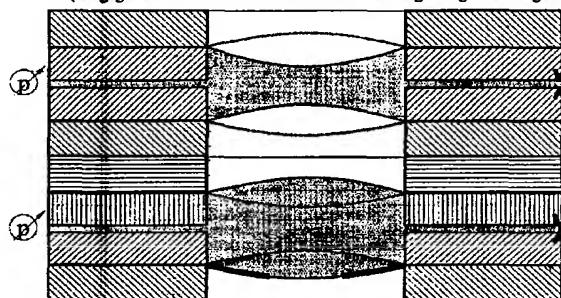
APPLE,DAVID J.: Intraocular Lenses, Evolution, Designs, Complications, and Pathology, Verlag Williams & Wilkins, Baltimore et.al., 1989, S.201-206;  
HORNE,D.F.: Lens mechanism technology, Adam Hilger, London, 1975, S.191-216;  
JP Patents Abstracts of Japan:  
55- 6374 A.P- 3,March 25,1980,Vol. 4,No. 35;  
63-220201 A.,P- 812,Jan. 12,1989,Vol.13,No. 12;  
60-114804 A.,P- 399,Oct. 23,1985,Vol. 9,No.265;  
1-166004 A.,P- 938,Sep. 29,1989,Vol.13,No.436;

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

⑯ Variable optische Systeme

⑯ Um variable Linsensysteme einfacher aufbauen zu können, werden gewöhnliche Linsen durch Membranlinsen ersetzt. Die Linearverschiebung kann deshalb entfallen. Insgesamt kommt es dadurch zu einer Gewichts- und Kostenreduktion. Die Membranlinsentechnik kann des Weiteren zur kostengünstigen Produktion asphärischer Linsen und Spiegel dienen, was bisher aufwendig ist. Durch einfachen, reproduzierbaren Aufbau sind die Linsensysteme in allen Größen leicht produzierbar ohne Grenzen in der Miniaturisierung. Auch Kontaktlinsen oder künstliche Implantate sind kostengünstig realisierbar. Anstelle der gewöhnlichen Linearverschiebung wird das Fluid in der Membranlinse (durch Membranen begrenzte Linsenkammer) zur Veränderung der Brennweite verwendet. Hier können Druck, Volumen oder der Brechungsindex des Fluids variiert werden. Die Membranen erreichen eine dem Druck entsprechende Wölbung, die sphärisch oder asphärisch sein kann. Hierzu wird die Dicke der Membranlinse über den Radius geändert. Eine solche Membranlinse kann dann ebenso als Werkzeug dienen, was die Herstellung von asphärischen Linsen erheblich vereinfacht. Insbesondere konkave Linsen können nach Verriegelung leicht als Spiegel eingesetzt werden. Variable Linsensysteme und Herstellung von Linsen und Spiegeln.

(die gegensätzlichen Extrema der Membranwölbung sind gestrichelt gezeichnet)



DE 197 10 668 A 1

## Beschreibung

Die Erfindung betrifft variable Linsensysteme bestehend aus Membranlinsen, deren Form von konkav bis konvex alle Linsenformen durch Druck- bzw. Volumenänderung in der fluidischen Befüllung annehmen kann. Durch gezielte Formung der Membranen werden optische Korrekturen durchgeführt.

Variable Linsensysteme sind weitläufig im Einsatz wie z. B. in Zoom-Objektiven. Für die Zoomfunktion enthalten sie eine mechanische Verfahrenseinheit, mit der der Abstand einer Linsen im System verstellt wird.

Verstelleinrichtungen sind schwer und benötigen viel Platz. Die Mechaniken sind anfällig und empfindlich gegen Verschmutzung. Die Lichtstärke variiert mit Veränderung der Vergrößerung. Außerdem ist der Verstellbereich begrenzt, es ist nicht ohne weiteres möglich, übergangslos von Weitwinkel bis Zoom mit einem Objektiv auszukommen. In der Miniaturisierbarkeit sind herkömmliche variable Linsensysteme ebenso begrenzt. Asphärische Linsen sind schwer realisierbar und aufwendig in der Herstellung.

Aufgabe der Erfindung ist, ein unempfindliches variables Linsensystem zu schaffen, das bei beliebiger (großer bis sehr geringer) Baugröße einen sehr großen Zoombereich ermöglicht. Das System muß deshalb leicht miniaturisierbar sein, um z. B. auch in der Endoskopie eingesetzt werden zu können. Es soll möglich sein, asphärische Linsen kostengünstig herzustellen. Alle Korrekturmöglichkeiten der Optik wie Oberflächenvergütung und zusätzliche Aberrationskorrekturen sollen realisierbar sein.

Diese Aufgabe wird gelöst durch den Aufbau wie in Anspruch 1 dargestellt.

Variable Membran-Linsen verändern ihre Form, wenn in einem geschlossenen System der Druck variiert wird. Damit ist sowohl eine konvexe als auch eine konkave Form realisierbar. Der genaue Verlauf der Wölbung wird hierbei durch eine Dickenvariation der Membran beeinflußt. Deshalb werden zusätzliche Korrekturlinsen überflüssig. Mit einem System aus variablen Membran-Linsen wird ein Zoom mit großem Verstellbereich erzeugt, dessen Funktion bei konstanter Baulänge durch bloße Druckänderung erfüllt wird. Alternativ können auch die Brechungsindizes variiert werden, was ebenso zu einer Änderung der Brennweite führt. Alle gängigen Linsengrößen sind mit geringem Aufwand herstellbar. Membrankammern können sogar mittels mikrotechnischer Verfahren erzeugt werden, was gute Miniaturisierbarkeit gewährt (z. B. endoskopische Mikrozooms). Komplettsysteme aus variablen Membran-Linsen können damit in allen Größen als platzsparende Kompaktzooms eine kostengünstige Alternative sein.

Ausführungsbeispiele der Erfindung sind in den Zeichnungen dargestellt und werden im folgenden näher beschrieben.

Prinzipiell werden Membranen und Rahmen (die Mittelplatte mit Querbohrung) so miteinander verklebt, daß eine Druckkammer entsteht (Bild 1). Allgemein werden die Kammern rotationssymmetrisch sein, aber auch andere Formen können erzeugt werden, falls Verwendung besteht. Wegen des Innendrucks müssen die Rahmen eine ausreichende Festigkeit aufweisen. Die Membran muß klar und flexibel sein und wird zwischen zwei Rahmen geklemmt. Denkbar ist auch, daß die Membran auf das Mittelstück geklebt oder geschweißt wird, wodurch der obere und der untere Rahmen wegfallen können (Bild 2). Die Durchlässigkeit der Membran oder des Fluids kann an einen schmalen Wellenlängenbereich angepaßt werden, falls dies erforderlich sein sollte.

Zwei Querbohrungen im Mittelstück gewährleisten, daß die Kammer ohne Luftblasen gefüllt werden kann. Über die

Querbohrungen kann man den Druck variieren, so daß sich die Wölbung der Membran verändert. Hierbei kann sowohl eine Konkav- als auch eine Konvexität erreicht werden (Unter- bzw. Überdruck). Des weiteren kann auch der Brechungsindex variiert werden, indem man unterschiedliche Fluide verwendet. Auch das führt zu einer Veränderung der Brennweite.

Durch Anpassung der Dicke der Membran über den Radius kann jede beliebige Form der Membranwölbung erreicht werden, da dickere Bereiche sich bei gleichem Druck weniger dehnen. Hiermit werden sowohl sphärische als auch asphärische Linsen möglich (z. B. ellipsoid oder hyperboloid, Bild 2). Die beiden Membranen können auch unterschiedlich gestaltet werden, wobei sie dann bei Variation des Druckes jeweils unterschiedliche Wölbungen erhalten (Bild 2). Dies kann man auch erreichen, wenn die Linse innerhalb einer geschlossenen Kammer ist, deren Vorder- und Rückseite unterschiedlich groß sind (Bild 3). Durch den unterschiedlichen Druck, der sich bei Größenänderung der Linse auf beiden Seiten ausbildet, unterscheiden sich die Wölbungen der Membranen. Membranen, deren Querschnitt die Form nicht-stetiger Kurven hat, lassen sich mit Stützstrukturen entsprechend Bild 4 erreichen (auf Zug oder Druck belastet). Es lassen sich auch kreissymmetrisch gewellte Membranen herstellen, indem man eine stehende akustische Welle in der Kammer aufbaut. Diese Funktion kann z. B. zum schnellen definierten Abschalten eines Strahles verwendet werden.

Eine weitere Möglichkeit ergibt sich durch Verwenden einer starren Rückplatte (gerade oder gewölbt, Bild 5 und Bild 6). So können einseitig variierbare Linsen, pianokonvex und plankonkav, erzeugt werden. Erweitert wird die Flexibilität dieses Prinzips, wenn die Rückplatte verspiegelt wird, da auf diese Weise flexible Spiegel möglich werden. Im Falle reflektierender flexibler Membranen oder eines reflektierenden Fluids kann solch ein Spiegel auch ohne Abhängigkeit vom Brechungsindex des Fluids realisiert werden. Auch Teile der Membran können verspiegelt sein, z. B., um Streulicht in den Strahlkegel zu reflektieren.

Mittels Lösungen mit unterschiedlichen Konzentrationen (Brechungsindizes) kann kontinuierlich ein großer Brechungsindex-Bereich durchfahren werden. Große Möglichkeiten bietet eine semipermeable Membran, die an eine isotonische Flüssigkeit grenzt. Wird die Konzentration in jener Flüssigkeit erhöht oder gesenkt, ändert sich auch die Konzentration und damit der Brechungsindex (je nach Membran der Druck) des Fluids in der Membrankammer.

Blenden können im Bedarfsfall auf beiden Seiten oder sogar innerhalb der Kammer angebracht werden (Bild 7, enthält verschiedene mögliche Blenden). Durch Bearbeitung der Membran kann diese die Blende schon enthalten (durch Aufbringen einer Schicht oder partielles Aufrauhen bzw. Abdunkeln).

Ein Zoom-System aus variablen Membranlinsen (Bild 8) besteht nun beispielsweise aus zwei variablen Linsen, die untereinander einen festen Abstand aufweisen. Die Zoomfunktion wird hier lediglich durch Druckänderung innerhalb der Linsen erfüllt. Da beide Linsen nicht unbedingt dieselbe Druckänderung benötigen, kann ein leicht herzustellender Verstellmechanismus wie in Bild 9 verwendet werden: zwei Schläuche mit definiertem Breitenverlauf werden auf eine Achse gewickelt. Werden die Schläuche auf gegenüberliegenden Seiten angebracht, wird ein Schlauch auf-, während der andere abgerollt wird. Dabei wird der erste Schlauch geleert, der zweite gefüllt. Es vergrößert sich dann der Druck in der einen Linse, während der Druck in der anderen sinkt. Je nach Breite des Schlauches ist die Volumenänderung pro Umdrehung unterschiedlich. So können für beide Linsen

unterschiedliche Größenänderungen mit nur einem Stellrad erhalten und automatische Fokusanpassung garantiert werden.

Ein großer Markt besteht für sehr billige Zoomsysteme bei den immer weiter verbreiteten "Wegwerkameras", die mit billiger Optik ausgerüstet sind und mit dem belichteten Film zurückgegeben werden. Hier ist die Membranlinsen-Zoomoptik sehr gut einzusetzen.

Für die Medizintechnik ergeben sich noch zwei weitere Möglichkeiten: Kontaktlinsen, die mit Flüssigkeit gefüllt sind, sind billig herzustellen, weil statt einer gewölbten Linse zwei flache Membranen verwendet werden können (Bild 10). Über ein kleines Druckpolster ließe sich so außerdem auch eine variable Kontaktlinse erstellen. Des Weiteren könnte man auch die Linse des menschlichen Auges auf diese Weise nachbilden (künstliches Implantat). Die Fokussierung könnte über die Sehmuskulatur (direkte Druckänderung auf die künstliche Linse oder über Fluidpolster) oder extern (automatisch oder manuell) geschehen.

Ein Spiegelsystem kann auch mit starren, aber verschiebbaren Spiegeln aufgebaut werden (Bild 11). Hierzu muß auf die konkav gewölbte Membran eine dicke Spiegelschicht aufgebracht werden, die bis auf einen kleinen Bereich in der Mitte der Membran durch eine Opferschicht von der Membran getrennt ist. Wird die Opferschicht nun herausgelöst und der Druck variiert, führt die Membran eine Linearverschiebung des starren Spiegels durch.

Eine weitere wichtige Möglichkeit ergibt sich, wenn die gewölbte Membran als Werkzeug verwendet wird (alle oben besprochenen Membranformen sind möglich, Bild 12). Zuerst wird die Membran in die gewünschte Auswölbung gebracht und mit einer Schutzschicht versehen. Dann kann z. B. flüssiger Kunststoff eingegossen werden.

Vor dem Aushärten kann die Wölbung *in situ* kontrolliert verändert werden (z. B. mit einer Referenz-Abbildung). Nach dem Aushärten erhält man entweder eine feste Linse oder nach Aufbringen einer Spiegelschicht (Bild 14) einen gewölbten Spiegel. Wenn die Membran aus einem nicht-benetzbaren (evtl. temperaturbeständigen) Material besteht (z. B. Teflon, hier ist gute Flexibilität nicht vonnöten), kann die Kammer auch direkt mit flüssigem Kunststoff aufgefüllt werden (Bild 13). Nach dem Öffnen der Kammer bekommt man die fertige Festlinse, die auch wieder zu einem Spiegel gemacht werden kann. Mit diesem Formteil kann wiederum eine Linse (aus Glas oder Kunststoff) gegossen werden. Dieses Herstellungsverfahren bietet die Möglichkeit, auch asphärische Linsen kostengünstig herzustellen.

Insbesondere Membranen größeren Durchmessers können auf starke Beschleunigungen (Stöße...) mit Schwingungen der Membran reagieren. Dies kann mit einem geregelten System ausgeglichen werden: man benötigt einen Beschleunigungssensor, die Regelung und einen Aktor, der den Druck entsprechend der Beschleunigung variiert (Bild 15). Solch ein Aktor könnte ein Piezoaktor sein. Auf Basis destruktiver Interferenz werden die Schwingungen kompensiert.

Ein weiteres geregeltes Komplettsystem könnte aus einer auf der starren Rückplatte angebrachten photosensitiven Struktur und einer variablen Membran bestehen (Bild 16). So könnten beispielsweise kostengünstig Kleinstkameras mit Zoomobjektiv hergestellt werden. Die Wölbung der Membran wird hierzu jeweils so eingestellt, daß das Bild auf der photosensitiven Struktur fokussiert wird. Wenn die Kamera aus hitzebeständigen Materialien hergestellt wird, wird mit ihr eine *in situ* Beobachtung von Brennkammern oder ähnlichem möglich.

## Patentansprüche

1. Variables Linsensystem, dadurch gekennzeichnet, daß Brennweiten durch Druck-, Volumen- oder Konzentrationsänderung des Fluids in fluidgefüllten Linsenkammern geändert werden.
2. Vorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Linsenkammer durch eine oder mehr Membranen begrenzt wird.
3. Vorrichtung nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Linsenkammer voll- oder teiltransparent ausgebildet sein kann.
4. Vorrichtung nach einem der vorherigen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß durch Änderung der Dicke der Membran über den Radius jede beliebige Form der Wölbung erreicht werden kann, z. B. ellipsoid oder hyperboloid, symmetrisch oder asymmetrisch.
5. Vorrichtung nach einem der vorherigen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß der Querschnitt der Membran durch Stützstrukturen auch die Form nichtstetiger Kurven annehmen kann. Diese Stützstrukturen können auf Zug oder Druck belastet werden und damit unterschiedliche Ausführungen ermöglichen.
6. Vorrichtung nach einem der vorherigen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß beide Membranen der Membranlinse unterschiedlich ausgebildet sind oder durch unterschiedliche Gegendrücke unterschiedliche Wölbungen erhalten.
7. Vorrichtung nach einem der vorherigen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß Blenden im Bedarfsfall auf beiden Seiten oder innerhalb der Kammer angebracht sein können, oder die Blende in die Membran bereits eingebaut ist.
8. Vorrichtung nach einem der vorherigen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß durch akustisch erzeugte Wellen im Füllfluid die optischen Eigenschaften sich sprunghaft verstetzen lassen.
9. Vorrichtung nach einem der vorherigen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß sich einseitig variable Linsen durch eine starre Rückplatte herstellen lassen.
10. Vorrichtung nach einem der vorherigen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß eine starre Rückplatte gewölbt ist.
11. Vorrichtung nach einem der vorherigen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß beide Membranen durch starre Platten ersetzt werden können.
12. Vorrichtung nach einem der vorherigen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß durch kontinuierliche Änderung des Brechungsindex des Fluids die Brennweite der Linse sich ebenfalls ändert.
13. Vorrichtung nach einem der vorherigen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß anstelle des Fluids ein hochviskoses oder festes Polymer verwendet wird, dessen Viskosität über Einwirkung von außen zur Variation des Linsenradius durch Druck herabgesetzt werden kann. Nach Einstellung des Linsenradius kann das Polymer wieder in den festen Ursprungszustand zurückgesetzt werden.
14. Vorrichtung nach einem der vorherigen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Rückplatte reflektierend ist, um einen variablen Spiegel zu erzeugen.
15. Vorrichtung nach einem der vorherigen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß eine teilweise oder ganz reflektierend ausgelegte Membran sich auch als variabler Spiegel einsetzen läßt.
16. Vorrichtung nach einem der vorherigen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß ein reflektierendes

Fluid in einer Membranlinse einen variablen Spiegel erzeugt.

17. Vorrichtung nach einem der vorherigen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß bei semipermeabler Ausführung einer der Linsenmembranen oder des Rahmens (die dazu an eine weitere Flüssigkeit grenzen) der Ionenaustausch mit der Linsenflüssigkeit ermöglicht wird, was zu einer Änderung des Brechungsindex führt. 5

18. Vorrichtung nach einem der vorherigen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß ein reines Membran-Fluid-Membran-System (ohne Rahmen) als Kontaktlinse eingesetzt werden kann. 10

19. Vorrichtung nach einem der vorherigen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß eine Kontaktlinse als variable Kontaktlinse ausgebildet sein kann, wenn sie mit einem Druckpolster oder einer ähnlichen Vorrichtung zur Erhöhung des Druckes oder Volumens verbunden wird. 15

20. Vorrichtung nach einem der vorherigen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Linse des menschlichen Auges auf dieselbe Weise (Membran-Fluid-Membran) hergestellt und mit dem Sehmuskel oder einem externen Antrieb deren Brennweite ver- 20 stellt werden kann. 25

21. Vorrichtung nach einem der vorherigen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß eine mit Opferschicht aufgebrachte Spiegelschicht nach Herauslösen der Opferschicht durch Druckänderung innerhalb der Membrankammer vor- und zurückgeschoben werden 30 kann. 35

22. Vorrichtung nach einem der vorherigen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die gewölbte Membran in allen oben besprochenen Ausbildungen als Werkzeug verwendet werden kann, um z. B. asphärische Spiegel oder Linsen herzustellen. 35

23. Vorrichtung nach einem der vorherigen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß das Gußmaterial innerhalb oder außerhalb der Membrankammer einge- 40 gossen werden kann. 40

24. Vorrichtung nach einem der vorherigen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß ein stabiles System großer Membranlinsen aufgebaut werden kann, indem ein Schwingungssensor auf der Membran mit einem Aktor in der Kammer gekoppelt ist, um Schwingungen 45 der Membran auszugleichen. 45

25. Vorrichtung nach einem der vorherigen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß durch Anbringen einer photosensitiven Struktur auf der starren Rückplatte einer Membranlinse eine kostengünstige Kleinstkamera mit Zoom herstellen läßt. Durch Verwenden einer hitzebeständigen Membran kann die Kamera auch in sehr heißen Umgebungen eingesetzt werden. 50 55

Hierzu 4 Seite(n) Zeichnungen

(p) — Druckregelung

X — Ventil (für Befüllung)

Membran mit möglichen Auslenkungen

Querbohrung  
für die Fluidanschlüsse

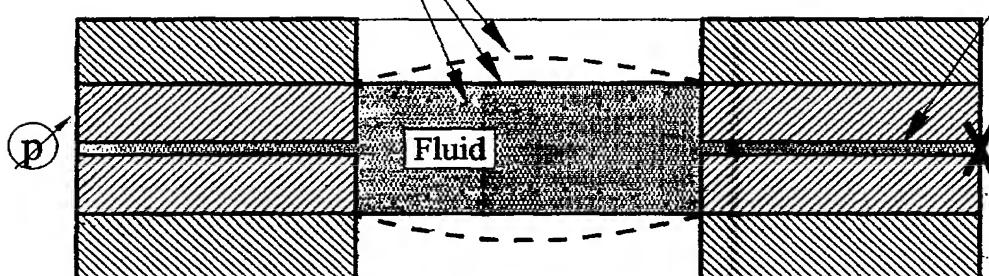


Bild 1

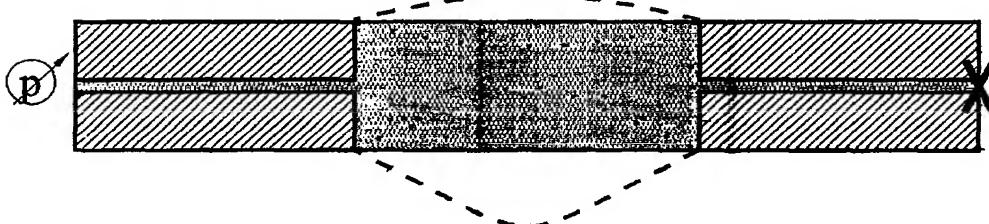


Bild 2

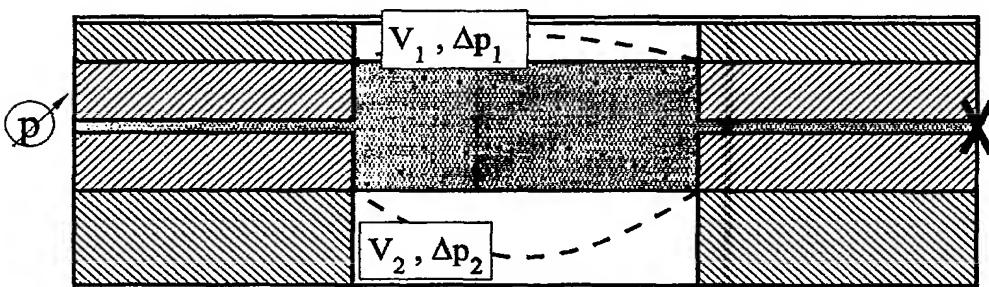


Bild 3

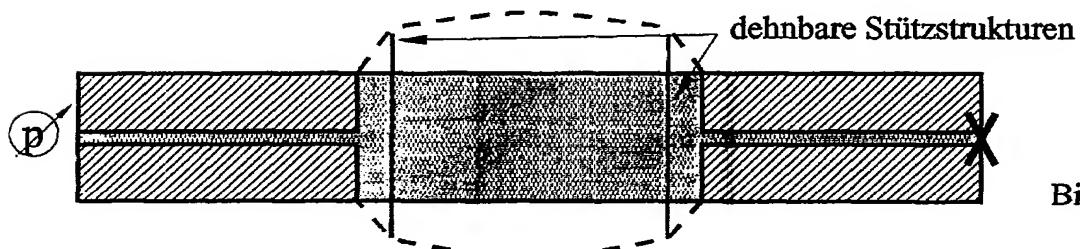


Bild 4

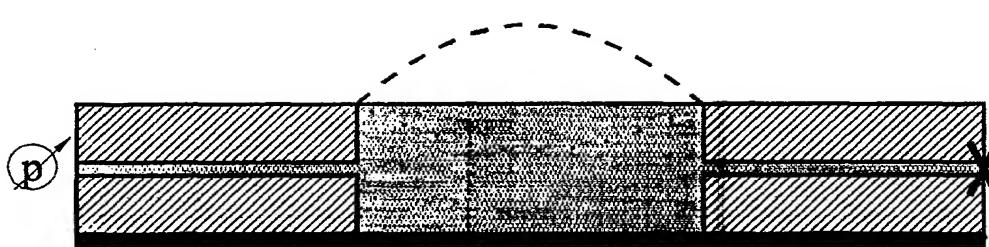


Bild 5

Bodenplatte voll-, teiltrans-  
parent oder reflektierend

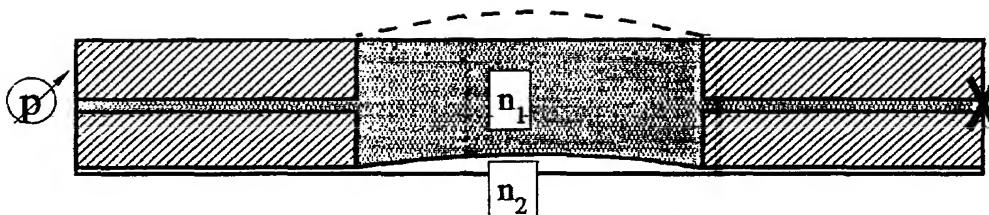


Bild 6

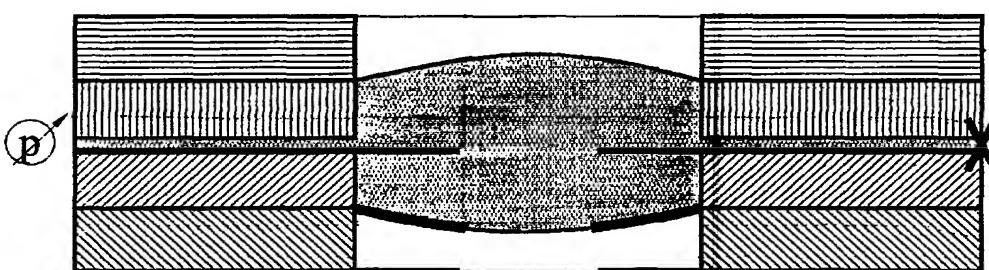


Bild 7

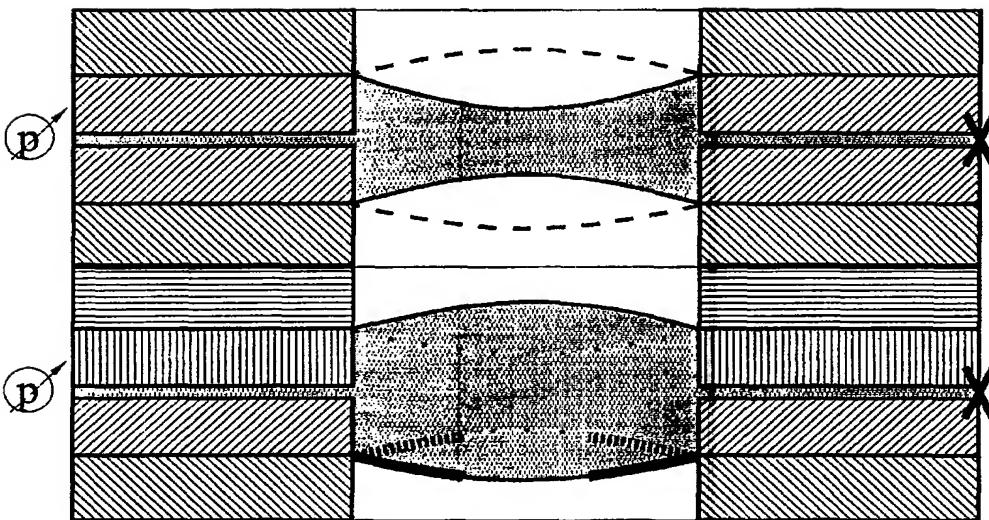


Bild 8

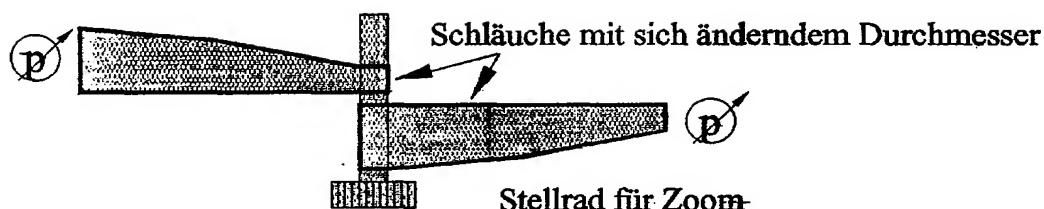


Bild 9



Bild 10

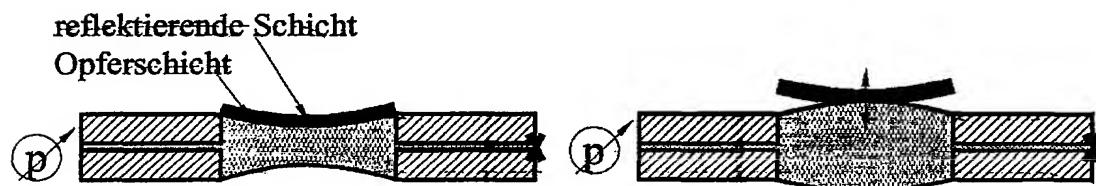


Bild 11 a) und b)

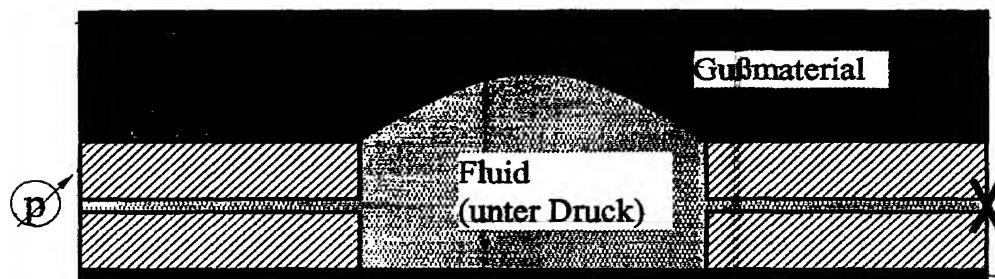


Bild 12



Bild 13

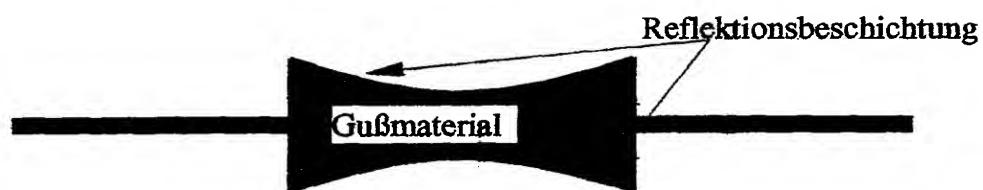


Bild 14

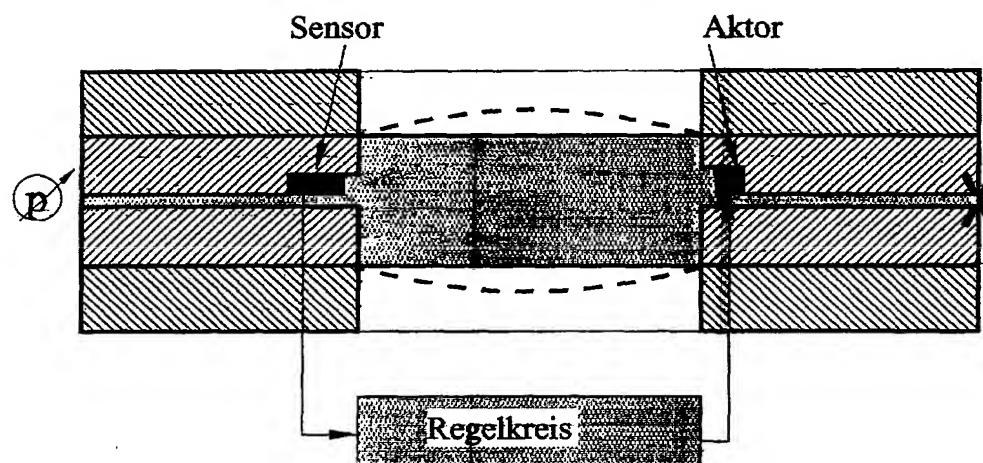


Bild 15

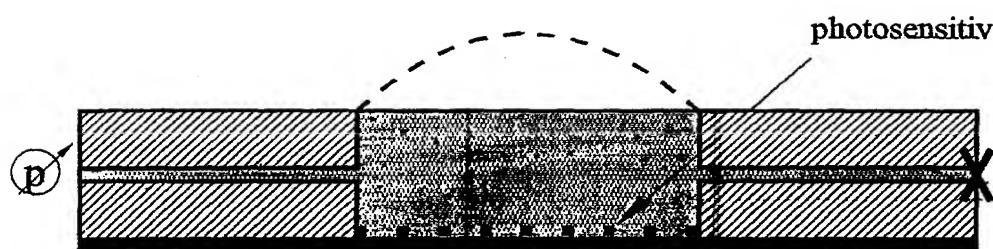


Bild 16